

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/000348

International filing date: 14 January 2005 (14.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE

Number: 10 2004 003 514.8

Filing date: 23 January 2004 (23.01.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 04 April 2005 (04.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

24 MAR 2005

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:** 10 2004 003 514.8**Anmeldetag:** 23. Januar 2004**Anmelder/Inhaber:** SMS Demag AG, 40237 Düsseldorf/DE**Bezeichnung:** Verfahren zum Erhöhen der Prozessstabilität, insbesondere der absoluten Dickengenauigkeit und der Anlagensicherheit, beim Warmwalzen von Stahl- oder NE-Werkstoffen**IPC:** B 21 B 37/16**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 14. Februar 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Remus".

Remus

41181

SMS Demag Aktiengesellschaft
Eduard-Schloemann-Str. 4, 40237 Düsseldorf

Verfahren zum Erhöhen der Prozessstabilität, insbesondere der absoluten Dickengenauigkeit und der Anlagensicherheit, beim Warmwalzen von Stahl- oder NE-Werkstoffen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erhöhen der Prozessstabilität, insbesondere der absoluten Dickengenauigkeit und der Anlagensicherheit, beim Warmwalzen von Stahl- oder NE-Werkstoffen mit kleinen Umformgraden oder kleinen Abnahmen unter Berücksichtigung der Warmstreckgrenze bei der Berechnung der Sollwalzkraft und der jeweiligen Anstellungsposition.

In einer Vorveröffentlichung „Kraft- und Arbeitsbedarf bildsamer Formgebungsverfahren“ von A. Hensel und T. Spittel, Leipzig 1978, und in einer weiteren Vorveröffentlichung „Rationeller Energieeinsatz bei Umformprozessen“ von T. Spittel und A. Hensel, Leipzig 1981, werden verschiedene Verfahren zur Ermittlung der Sollwalzkraft beim Warmwalzen als Produkt aus Umformwiderstand und gedrückter Fläche beschrieben. Der Umformwiderstand selbst wird als Produkt aus der Fließspannung und einem Faktor zur Berücksichtigung der Walzspaltgeometrie und / oder von Reibungsverhältnissen bestimmt. Die am häufigsten verwendete Methode zur Ermittlung der Fließspannung ist deren Bestimmung über einen Ansatz mit Einflussfaktoren zur Berücksichtigung von Umform-Temperatur, Umformgrad und Umformgeschwindigkeit, die multiplikativ miteinander verbunden werden, bspw. in folgender Form:

$$(1) \quad k_f = k_{f0} \cdot A_1 \cdot e^{m1 \cdot T} \cdot A_2 \cdot \phi^{m2} \cdot A_3 \cdot \phi\phi^{m3}$$

worin bedeuten:

k_f	= Fließspannung
k_{f0}	= Grundwert der Fließspannung
T	= Umformtemperatur
φ	= Umformgrad
$\dot{\varphi}ip$	= Umform-Geschwindigkeit
A_i, m_i	= thermodynamische Koeffizienten.

Für unterschiedliche Materialgruppen wurden die thermodynamischen Koeffizienten ermittelt; die Unterscheidung der Materialien innerhalb einer Gruppe erfolgt über die jeweiligen k_{f0} -Grundwerte.

In dem weiteren Aufsatz „Modellierung des Einflusses der chemischen Zusammensetzung und der Umformbedingungen auf die Fließspannung von Stählen bei der Warmumformung“ von M. Spittel und T. Spittel, Freiberg 1996, wird zusätzlich vorgeschlagen, den Grundwert der Fließspannung eines Materials in Abhängigkeit von dessen chemischer Analyse zu ermitteln und die übrigen Parameter zur Berücksichtigung der Temperatur, des Umformgrades und der Umformgeschwindigkeit entsprechend der Materialgruppe zu nutzen. Grundsätzlich jedoch bleibt der multiplikative Charakter des Ansatzes gemäß Gleichung (1) bestehen.

Der Nachteil des multiplikativen Ansatzes zur Ermittlung der Fließspannung besteht darin, dass die Funktion mit kleiner werdenden Umformgraden $\varphi < 0,04$ oder Abnahmen gegen eine Fließspannung von Null MPa strebt, d.h. die Funktion hat einen Null durchgang (in Fig. 1 zum Stand der Technik gezeigt). Diese Theorie widerspricht jedoch den tatsächlichen Gegebenheiten. Als Folge werden bei kleinen Abnahmen zu geringe Fließspannungswerte und somit zu geringe Sollwalzkräfte bestimmt. Die Setzung des Sollwalzspaltes durch die Dickenregelung ist walzkraftabhängig und somit fehlerbehaftet. Die warmgewalzten Produkte weisen eine größere Istdicke im Vergleich zur gewünschten Zieldicke auf.

Die fehlerbehaftete Sollwalzkraft-Berechnung bei kleinen Umformgraden bzw. Abnahmen stellt eine permanente Anlagengefährdung beim Walzen mit hohen Walzkräften und / oder Walzmomenten nahe den maximal zulässigen Anlagenparametern dar, wie sie bspw. beim Walzen mit abgesenkten Temperaturen oder aber auch bei hohen Temperaturen und Walzgutbreiten nahe der anlagentechnisch maximal möglichen Breite auftreten.

Die fehlerbehaftete Sollwalzkraft-Berechnung beeinträchtigt auch die Prozessstabilität insgesamt negativ, da nachgeschaltete Automations-Modelle und –regelungen die bspw. Profil- und Planheitsmodelle bzw. –regelungen ihre Sollwerte mit Hilfe der Sollwalzkraft ermitteln.

Aus der WO 93 / 11 886 A1 ist ein Walzplan-Berechnungsverfahren zur Einstellung von Sollwalzkraft und Sollwalzspalt eines Walzgerüstes bekannt, das gerüstspezifische und / oder materialspezifische Walzkraft-Anpassungsglieder nutzt. Nachteilig sind gerüstspezifische Anpassungen bei der Sollwalzkraft-Berechnung für die Übertragbarkeit auf andere Anlagen.

Aus der WO 99 / 02 282 A1 geht ein bekanntes Verfahren hervor zur Steuerung bzw. Voreinstellung des Walzgerüstes in Abhängigkeit zumindest einer der Größen Walzkraft, Walzmoment und Voreilung, bei dem die Modellierung der Einflüsse mittels einer auf neuronalen Netzen basierenden Informationsverarbeitung oder mittels eines invertierten Walzmodells über Rückrechnung der Materialhärte im Stich mit Hilfe eines Regressionsmodells erfolgt. Solche Fehler, wie sie bei der Sollwalzkraft-Berechnung nach dem multiplikativen Ansatz im Bereich kleiner Umformgrade oder Abnahmen entstehen, können vermieden werden. Nachteilig ist jedoch, dass zum Trainieren eines neuronalen Netzes bzw. für ein invertiertes Walzmodell erst Walzergebnisse vorliegen müssen. Eine Anwendung des vorgeschlagenen Ver-

fahrens auf noch nicht gewalzte Materialien oder auf Anlagen mit anderen Parametern ist somit nicht ohne weiteres gewährleistet.

Dem geschilderten Stand der Technik ist gemeinsam, dass die Wirkung kleiner Umformgrade oder kleiner Abnahmen auf die Fließspannung beim Warmwalzen von Stahl und NE-Werkstoffen im Rahmen der bekannten Verfahren zur Sollwalzkraft-Berechnung und zur Dickenregelung nicht korrekt oder nur unzureichend berücksichtigt wird oder die Übertragbarkeit auf andere Anlagen eingeschränkt ist und somit Risiken für die Prozessstabilität, insbesondere der absoluten Dickengenauigkeit und der Anlagensicherheit bestehen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Erhöhung der Prozessstabilität, insbesondere der absoluten Dickengenauigkeit und der Anlagensicherheit beim Warmwalzen von Stahl- und NE-Werkstoffen zu schaffen, bei dem die Genauigkeit der Fließspannung und der Sollwalzkraft bei kleinen Umformgraden oder kleinen Abnahmen gesteigert werden kann.

Die gestellte Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Warmstreckgrenze in Abhängigkeit von Umformtemperatur und / oder Umformgeschwindigkeit ermittelt und in die Funktion der Fließspannung für die Bestimmung der Sollwalzkraft über die Beziehung

$$(2) R_e = a + e^{b1 + b2 \cdot T} \cdot \phi \dot{h} p^c$$

integriert wird, wobei bedeuten:

R_e	=	Warmstreckgrenze
T	=	Umform-Temperatur
$\phi \dot{h} p$	=	Umform-Geschwindigkeit
$a; b; c$	=	Koeffizienten

Der Vorteil bei der Nutzung eines neuen Ansatzes zur Berechnung der Fließspannung liegt darin, die Warmstreckgrenzen für die zu walzenden Materialien aus Messdaten von Walzungen mit Umformgraden kleiner als einem materialspezifischen Grenzumformgrad zu ermitteln, indem die Fließspannungen der betreffenden Stiche in Abhängigkeit von Umformtemperatur und Umformgeschwindigkeit aus gemessenen Walzkräften rückgerechnet und einer Warmstreckgrenze gleichgesetzt werden, wenn sie den aus Warmzugversuchen gemessenen Warmstreckgrenzen gleichen. Die gefundene Abhängigkeit der Warmstreckgrenze von Umformtemperatur und Umformgeschwindigkeit stellt den Startpunkt der approximierten Warmfließkurve dar.

Nach der weiteren Erfindung wird vorgeschlagen, dass ein multiplikativer Fließkurvenansatz um die Warmstreckgrenze in Abhängigkeit von Umformtemperatur und Umformgeschwindigkeit gemäß der Formel

$$(3) \quad k_{f,R} = a + e^{b_1 \cdot b_2 \cdot T} \cdot \rho \cdot \eta^c + k_{f0} \cdot A_1 \cdot e^{m_1 \cdot T} \cdot A_2 \cdot \varphi^{m_2} \cdot A_3 \cdot \rho \cdot \eta^{m_3}$$

bestimmt wird.

Aufgrund der erfindungsgemäßen Berücksichtigung der Warmstreckgrenze in Abhängigkeit von Umformtemperatur und Umformgeschwindigkeit erzielt das Verfahren selbst zu kleinsten Umformgraden hin korrekte Werte. Startwert ist die jeweilige Warmstreckgrenze des zu walzenden Materials in Abhängigkeit von Umformtemperatur und Umformgeschwindigkeit.

Nach der weiteren Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Fließspannung in die herkömmliche Walzkraftgleichung zur Ermittlung der Sollwalzkraft für die Dickenregelung und auch für Rechen-Modelle und Regelungsverfahren gemäß folgender Gleichung

$$(4) \quad F_w = Q_p \cdot k_{f,R} \cdot B \cdot (R_w \cdot (h_0 - h_1))^{1/2}$$

bestimmt wird, wobei bedeuten:

F_w	=	Sollwalzkraft
Q_p	=	Funktion zur Berücksichtigung von Walzspaltgeometrie und Reibungsverhältnissen
$k_{f,R}$	=	Fließspannung, unter Berücksichtigung der Streckgrenze
B	=	Walzgutbreite
R_w	=	Walzenradius
h_0	=	Dicke vor dem Stich
h_1	=	Dicke nach dem Stich

In Ausgestaltung der Erfindung ist ferner vorgesehen, dass aufgrund der Sollwalzkraft ein Materialmodul unter Berücksichtigung der Warmstreckgrenze in Abhängigkeit der Umformtemperatur und Umformgeschwindigkeit für Umformgrade kleiner einem materialspezifischen Grenzumformgrad berechnet wird, gemäß der Formel

$$(5) \quad C_M = (F_w - F_m) / dh_1$$

worin bedeuten:

C_M	=	Materialmodul
F_w	=	Sollwalzkraft

F_m = gemessene Walzkraft
 dh_1 = Änderung der Auslaufdicke

Die Erfindung ist sodann dahingehend ausgestaltet, dass die herkömmliche Gaugemeter-Gleichung in eine Form

() $ds_{AGC} = (1 + C_M / C_G) dh_1 = (1 + C_M / C_G) \cdot ((F_w - F_m) / C_G + s - s_{soll})$

erweitert wird, wobei bedeuten:

ds_{AGC} = Änderung der Walzspalteinstellung
 C_M = Materialmodul
 C_G = Walzgerüstmodul
 dh_1 = Änderung der Auslaufdicke
 F_w = Sollwalzkraft
 F_m = gemessene Walzkraft
 s = Anstellung des Walzspaltes
 s_{soll} = Sollanstellung des Walzspaltes

Dadurch wird nun auch das Materialfließverhalten bei kleinen Umformgraden oder Abnahmen richtig abgebildet.

Auf der Grundlage der Gaugemetergleichung und berechneter Sollwalzkraft wird die Anstellposition der elektromechanischen und / oder der hydraulischen Anstellung zur Gewährleistung der Auslaufdicke des Walzgutes ermittelt.

In der Zeichnung sind Diagramme für die Fließspannung in Abhängigkeit des Umformgrades nach dem Stand der Technik und gemäß der Erfindung gezeigt und werden nachstehend näher erläutert.

Es zeigen:

- Fig. 1 schematisch den Verlauf der Fließspannung k_f über dem Umformgrad φ beim herkömmlichen multiplikativen Ansatz (Stand der Technik) und
Fig. 2 schematisch den Verlauf der Fließspannung $k_{f,R}$ über dem Umformgrad φ gemäß der Erfindung, wobei unterhalb des Grenzumfanggrades φ_G der multiplikative Ansatz um die Warmstreckgrenze additiv erweitert ist.

Der Nachteil des multiplikativen Ansatzes zur Ermittlung der Fließspannung (Fig. 1) besteht darin, dass die Funktion zu kleinen Umformgraden $\varphi < 0,04$ oder kleinen Abnahmen hin gegen eine Fließspannung k_f von Null MPa strebt, d.h. die Funktion hat einen Nulldurchgang, wie gezeichnet.

Die erfindungsgemäße Berücksichtigung (Fig. 2) der Warmstreckgrenze R_e in Abhängigkeit von Umformtemperatur T und Umformgeschwindigkeit $\dot{\varphi} \cdot h \cdot p$ erzielt das erfindungsgemäße Verfahren selbst zu kleinsten Umformgraden φ hin korrekte Werte. Startwert ist die jeweilige Warmstreckgrenze R_e des zu walzenden Materials in Abhängigkeit von Umformtemperatur T und Umformgeschwindigkeit $\dot{\varphi} \cdot h \cdot p$.

41181

Bezugszeichenliste

A_i	thermodynamische Koeffizienten
a_i, b_i, c	Koeffizienten
B	Walzgutbreite
C_G	Gerüstmodul
C_M	Materialmodul
Δh_1	Änderung der Auslaufdicke
ΔS_{AGC}	Änderung der Walzspalteinstellung
F_m	gemessene Walzkraft
F_w	Sollwalzkraft
h_0	Dicke vor dem Stich
h_1	Dicke nach dem Stich
k_f	Fließspannung
k_{f0}	Grundwert der Fließspannung
$k_{f, R}$	Fließspannung, unter Berücksichtigung der Streckgrenze
m_i	thermodynamische Koeffizienten
φ	Umformgrad
φ_G	Grenzumformgrad
φ_{hp}	Umformgeschwindigkeit
Q_p	Funktion zur Berücksichtigung von Walzspaltgeometrie und Reibungsverhältnissen
R_e	Warmstreckgrenze
R_w	Walzenradius
s	Anstellung des Walzspaltes
s_{soll}	Sollanstellung des Walzspaltes
T	Umformtemperatur

SMS Demag Aktiengesellschaft
Eduard-Schloemann-Str. 4, 40237 Düsseldorf

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erhöhen der Prozessstabilität, insbesondere der absoluten Dickegenauigkeit und der Anlagensicherheit, beim Warmwalzen von Stahl- oder NE-Werkstoffen, mit kleinen Umformgraden (φ) oder kleinen Abnahmen unter Berücksichtigung der Warmstreckgrenze (R_e) bei der Berechnung der Sollwalzkraft (F_w) und der jeweiligen Anstellungsposition (s),
dadurch gekennzeichnet,
dass die Warmstreckgrenze (R_e) in Abhängigkeit von Umformtemperatur (T) und / oder Umformgeschwindigkeit ($phip$) ermittelt und in die Funktion der Fließspannung ($k_{f,R}$) für die Bestimmung der Sollwalzkraft (F_w) über die Beziehung

$$(2) \quad R_e = a + e^{b_1 + b_2 \cdot T} \cdot phip^c$$

integriert wird, wobei bedeuten:

R_e	= Warmstreckgrenze
T	= Umformtemperatur
$phip$	= Umformgeschwindigkeit
$a,; b,; c$	= Koeffizienten

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass ein multiplikativer Fließkurvenansatz um die Warmstreckgrenze (R_e) in Abhängigkeit von Umformtemperatur (T) und Umformgeschwindigkeit ($\phi \dot{h} p$) gemäß der Formel

$$(3) \quad k_{t;R} = a + e^{b_1 \cdot b_2 \cdot T} \cdot \phi \dot{h} p^c + k_{f0} \cdot A_1 \cdot e^{m_1 \cdot T} \cdot A_2 \cdot \phi^{m_2} \cdot A_3 \cdot \phi \dot{h} p^{m_3}$$

bestimmt wird.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Fließspannung ($k_{f,R}$) in die herkömmliche Walzkraftgleichung zur Ermittlung der Sollwalzkraft (F_w) für die Dickenregelung und auch für Rechen-Modelle und Regelungsverfahren gemäß folgender Gleichung

$$(4) \quad F_w = Q_p \cdot k_{f,R} \cdot B \cdot (R_w \cdot (h_0 - h_1))^{1/2}$$

bestimmt wird, wobei bedeuten:

F_w	=	Sollwalzkraft
Q_p	=	Funktion zur Berücksichtigung von Walzspaltgeometrie und Reibungsverhältnissen
$k_{f,R}$	=	Fließspannung, unter Berücksichtigung der Streckgrenze
B	=	Walzgutbreite
R_w	=	Walzenradius
h_0	=	Dicke vor dem Stich
h_1	=	Dicke nach dem Stich

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass aufgrund der Sollwalzkraft (F_W) ein Materialmodul (C_M) unter Berücksichtigung der Warmstreckgrenze (R_e) in Abhängigkeit der Umformtemperatur (T) und Umformgeschwindigkeit (ϕ_{HP}) für Umformgrade kleiner einem materialspezifischen Grenzumformgrad (ϕ_G) berechnet wird, gemäß der Formel

$$(5) \quad C_M = (F_W - F_m) / dh_1,$$

worin bedeuten:

C_M	= Materialmodul
F_W	= Sollwalzkraft
F_m	= gemessene Walzkraft
dh_1	= Änderung der Auslaufdicke

5. Verfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die herkömmliche Gaugemeter-Gleichung in eine Form

$$(6) \quad ds_{AGC} = (1 + C_M / C_G) dh_1 = (1 + C_M / C_G) \cdot ((F_W - F_m) / C_G + s - s_{soll})$$

erweitert wird, wobei bedeuten:

ds_{AGC}	=	Änderung der Walzspalteinstellung
C_M	=	Materialmodul
C_G	=	Walzgerüstmodul

dh_1	=	Änderung der Auslaufdicke
F_w	=	Sollwalzkraft
F_m	=	gemessene Walzkraft
s	=	Anstellung des Walzspaltes
s_{soll}	=	Sollanstellung des Walzspaltes

Zusammenfassung**41181**

Ein Verfahren zum Erhöhen der Prozessstabilität, insbesondere der absoluten Dik-kengenauigkeit und der Anlagensicherheit, beim Warmwalzen von Stahl- oder NE-Werkstoffen, mit kleinen Umformgraden (φ) oder kleinen Abnahmen unter Berücksichtigung der Warmstreckgrenze (R_e) bei der Berechnung der Sollwalzkraft (F_w) und der jeweiligen Anstellungsposition (s) kann bezüglich der Genauigkeit der Fließspannung ($k_{f,R}$) und der Sollwalzkraft (F_w) bei kleinen Umformgraden (φ) oder kleinen Abnahmen dadurch gesteigert werden, dass die Warmstreckgrenze (R_e) in Abhängigkeit von Umformtemperatur (T) und / oder Umformgeschwindigkeit ($phip$) ermittelt und in die Funktion der Fließspannung (k_f) für die Bestimmung der Sollwalzkraft (F_w) über die Beziehung

$$(2) \quad R_e = a + e^{b1 + b2 \cdot T} \cdot phip^c$$

integriert wird, wobei bedeuten:

R_e	=	Warmstreckgrenze
T	=	Umform-Temperatur
$phip$	=	Umform-Geschwindigkeit
$a; b; c$	=	Koeffizienten

Hierzu: Fig. 2

